

1. ARTIGO: MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA DETECTAR TENDÊNCIAS EM DADOS CLIMÁTICOS HISTÓRICOS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. INTRODUÇÃO

A superfície terrestre interage continuamente com a atmosfera por meio de trocas de gases de efeito estufa, água, energia ou precursores de forças climáticas de vida curta (compostos orgânicos voláteis biogênicos, poeira, carbono negro) (JIA *et al.*, 2019). Essas interações podem afetar o comportamento do ciclo hidrológico, dos parâmetros climáticos, influenciando o clima local, regional e global. As alterações nas médias climáticas observadas a longo prazo podem caracterizar mudanças climáticas. O termo mudança climática inclui todas as formas de inconstância climática, independentemente de sua natureza estatística ou de suas causas físicas (MOURATO; MOREIRA; CORTE-REAL, 2010).

Desde o ano 1853 diversas pesquisas foram realizadas acerca da variabilidade do clima, mas apenas no ano de 1988, por iniciativa da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) foi criado o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (LOPES, 2008). O IPCC é o orgão das Nações Unidas destinado a avaliar a ciência relacionada às mudanças climáticas e seus impactos ambientais e socioeconômicos, juntamente com estratégias de respostas a essas mudanças climáticas.

1.2. PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVO

Existem diversos métodos para a detecção e entendimento das mudanças climáticas. Através da aplicação de métodos estatísticos é possível analisar o comportamento dos dados climáticos históricos e essas técnicas podem detectar possíveis tendências crescentes ou decrescentes. Os testes de tendências podem ser classificados em métodos paramétricos e não paramétricos. Os testes de tendências paramétricas demandam que os dados sejam independentes e normalmente distribuídos, enquanto os testes de tendências não paramétricos exigem apenas que os dados sejam independentes (GOCIC; TRAJKOVIC, 2013; JAISWAL; LOHANI; TIWARI, 2015). Para a identificação de tendências climáticas, os testes comumente usados são Mann-Kendall (MK), declive de Sen e o teste de tendência de regressão linear (GÜCLÜ, 2018).

A realização de uma revisão na literatura fornece as melhores evidências a partir de trabalhos já publicados para informar políticas e práticas, sendo um dos principais objetivos da pesquisa para as respectivas comunidades acadêmicas e profissionais (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003). Diante da necessidade do estudo periódico do clima para diversos fins, foi realizada uma revisão sistemática para dar suporte e trazer conhecimento acerca dos métodos estatísticos utilizados na detecção de tendências climáticas em dados históricos.

1.3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os autores Gough, Oliver e Thomas (2012) definiram o conceito de revisão sistemática como sendo uma revisão da literatura de pesquisa usando métodos sistemáticos, explícitos e responsáveis. Tranfield, Denyer e Smart (2003) sugeriram três etapas para realizar uma revisão sistemática (Figura 1). Essas etapas vão direcionar e moldar uma revisão sistemática mais consistente.

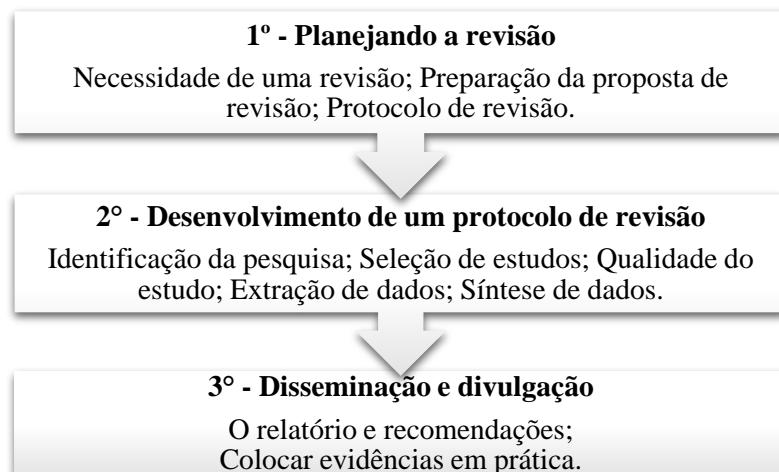


Figura 1 - Etapas para realizar uma revisão sistemática.

Fonte: Adapatado de Tranfield, Denyer e Smart (2003).

Para uma revisão sistemática os autores Gough, Oliver e Thomas (2012) definiram etapas semelhantes (Figura 1). Os autores descreveram práticas como o uso de palavras-chave em bibliotecas digitais. As tecnologias de classificação de documentos podem atribuir palavras-chave pré-existentes aos documentos. Nas revisões sistemáticas, essas tecnologias são usadas para determinar se um determinado estudo deve ser incluído ou excluído (GOUGH; OLIVER; THOMAS, 2012).

O *Google Scholar* é uma ferramenta amplamente usada na pesquisa acadêmica, que se destaca por oferecer abrangência, todavia, muitas vezes não possui a capacidade de fornecer conteúdo detalhado. Os textos completos podem ser acessados nas respectivas bibliotecas digitais, como *Science Direct* ou *Web of Science* (YANG *et al.*, 2018). As bibliotecas selecionadas nesta revisão foram o *Science Direct* que faz parte da *Elsevier*, e o *Web of Science*, que faz parte da *Clarivate Analytics*. Essas bibliotecas possuem um grande banco de dados de pesquisas científicas, sendo uma fonte de pesquisa confiável.

1.4. METODOLOGIA

Seguindo as metodologias de revisão sistemática, este trabalho seguiu a temática: Métodos estatísticos para avaliar tendências de dados climáticos históricos. Através do *Science Direct* e do *Web of Science* foram realizadas pesquisas com palavras-chave pertinentes à temática abordada.

Na pesquisa realizada no portal do *Science Direct*, em pesquisas avançadas, na seção “*Title, abstract, keywords*”, foi usada a seguinte sequência de palavras: “*climate trend*” and “*trend analysis*”. No *Science Direct* o resultado da pesquisa gerou 124 artigos. Foram selecionados artigos do tipo de revisão e pesquisa, sendo 6 artigos de revisão e 114 artigos de pesquisas, totalizando 120 artigos.

Na pesquisa realizada no portal do *Web of Science*, em pesquisa básica, com a sessão tópico ativada (Pesquisa o título, resumo, as palavras-chave do autor e o *Keywords Plus*) foi adicionado as seguintes palavras-chave com o conectivo “AND”: “*climate trend*”, “*trend analysis*”, “*historical data*”, “*statistics*”. No *Web of Science* o resultado da pesquisa gerou 71 artigos. Foi aplicado o filtro de artigos com acesso aberto, resultando em 30 artigos.

1.5. DISCUSSÃO

O número total de publicações estudadas foram consideravelmente reduzidas após uma extensa revisão, uma vez que muitos dos artigos selecionados pelas bases de dados estavam fora do contexto do presente trabalho. O número final de artigos utilizados nesta revisão sistemática do *Science Direct* foi de 24 artigos e no *Web of Science* 5 artigos. Não foram encontrados artigos em comum entre os dois bancos de dados.

1.5.1. Métodos estatísticos aplicados a tendências de dados climáticos históricos *Science Direct*

Os métodos estatísticos utilizados nos artigos selecionados no *Science Direct* podem ser observados na

Figura 2. A regressão linear foi bastante utilizada para visualizar o comportamento dos dados ao longo do tempo, em 48% dos artigos. Porém, nem sempre foi utilizada uma estatística para validar e quantificar o comportamento dos dados.

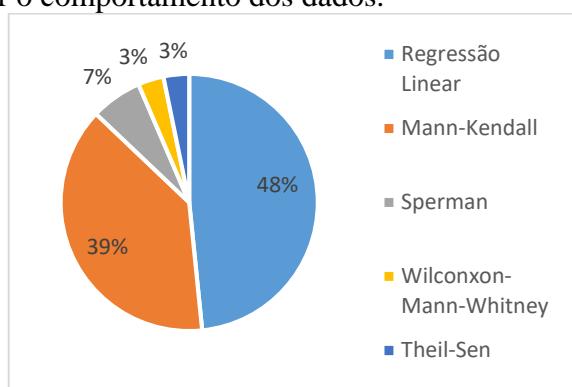


Figura 2 – Métodos estatísticos utilizados nos artigos selecionados do *Science Direct*.

Fonte: Autor.

Em Xinjiang-China, os autores Jiapaer *et al.* (2015) utilizaram um método de regressão linear para analisar dados de precipitação e temperatura média do ar. Os coeficientes de inclinação de tendência foram calculados através da equação (1).

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n A_i B_i - \sum_{i=1}^n A_i \sum_{i=1}^n B_i}{n \sum_{i=1}^n A_i^2 - (\sum_{i=1}^n A_i)^2} \quad (1)$$

Em que n será o número de anos no período de estudo, A_i o valor da variável independente e B_i o valor da variável dependente no i° ano. Então a variável terá uma tendência crescente se $R > 0$ e decrescente se $R < 0$.

Segundo os autores Cutforth e Judiesch (2007), em geral, para avaliar as tendências dos dados climáticos o teste de Spearman (Eq. (2)) ou o Kendall's T produzem resultados semelhantes.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n [R_i - i]^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2)$$

Onde R_i corresponde a posição da i° -ésima observação na amostra de tamanho n, ρ pode assumir qualquer valor entre -1 e +1, valores positivos e negativos indicam tendências ascendentes e descendentes (WANG *et al.*, 2015).

O teste de Wilcoxon-Mann-Whitney identifica diferenças significativas nas médias mensais (Eq. (3)) (FELTOVICH, 2003). É um teste não paramétrico, não requer amostras normalmente distribuídas, e a tendência é validada a partir do valor p crítico inferior a 0,05 (LÓPEZ-MORENO *et al.*, 2014).

$$Z = \frac{U(YX) - n/2}{\sqrt{n(m+n+1)/12m}} \quad (3)$$

Onde a posição do elemento x_i na amostra X é definido como o número de observações em Y na outra amostra, sendo denotado por $U(YX)$ média aritmética, m e n são o tamanho da amostra de X e Y, respectivamente.

O teste de Theil Sen é um método não paramétrico. Considerando um modelo de regressão linear múltipla é possível calcular o teste de Theil Sen (Eq. (4)) (DANG, 2008).

$$Y_i = \alpha + X_i^T \beta + \epsilon_i, i = 1, \dots, n, \quad (4)$$

Onde α é a interceptação, β é a inclinação e ϵ_i são os erros aleatórios.

O teste de Mann-Kendall foi selecionado pelos autores Hartmann e Andresky (2013) por ser menos sensível em comparação aos métodos de detecção de tendência paramétrica, além de ser um procedimento baseado em classificação que testa a hipótese nula de ‘aleatoriedade’ ou ‘nenhuma tendência’. Segundo os autores Tahir *et al.* (2015), o teste não paramétrico de Mann-Kendall é menos sensíveis aos valores extremos da amostra e não dependem de suposições sobre a natureza das tendências lineares ou não lineares. Tahir *et al.* (2015) afirmaram também que a declinação de Sen é um método de regressão linear robusto. Nepal (2016) afirmou que o teste não paramétrico de Mann-Kendall e o método de Sen não assumem a distribuição de dados e é útil para detectar tendências monotônicas. Fuentes, Van Ogtrop e Vervoort (2020) utilizaram o teste de Mann-Kendall e a declinação de Sen, pois é possível quantificar a magnitude, a direção e a significância das tendências.

Web of Science

Todos os artigos do *Web of Science* utilizaram o teste não paramétrico de Mann-Kendall. O teste estatístico de Mann-Kendall pode testar a significância da tendência de uma série temporal (LIN *et al.*, 2020). Esse teste pode ser usado para detectar tendências que são monotônicas, mas não necessariamente lineares e a hipótese nula no teste indica que os dados são independentes e ordenados aleatoriamente (MCBEAN; MOTIEE, 2006). Os autores Arnone *et al.* (2013) afirmaram que o teste de Mann-Kendall identifica a presença de uma tendência sem fazer uma suposição sobre as propriedades de sua distribuição. Como resultado, é menos influenciado pela presença de *outliers* do que os testes paramétricos. A estatística do teste de Mann-Kendall pode ser expressa a partir da equação (5) (FANG *et al.*, 2019).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (5)$$

$$\text{Em que } \text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1, & \text{se } (x_i - x_j) > 0 \\ 0, & \text{se } (x_i - x_j) = 0 \\ -1, & \text{se } (x_i - x_j) < 0 \end{cases}$$

Onde n é o número total de dados, x_i e x_j são valores de séries temporais em instantes de tempo i e j. Os valores positivos e negativos de S representam tendências ascendentes ou descendentes na série temporal. Sob a hipótese nula de que todos os elementos X são classificados aleatoriamente e independentes, S é uma variável aleatória normal com a média e a variância dada pela equação (7) (FANG *et al.*, 2019).

$$E(S) = 0, \quad (6)$$

$$\text{var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (7)$$

Onde t_i é o número de repetições de uma extensão i . A estatística de teste padronizada Z é definida na equação (8).

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

A significância da tendência é determinada pela comparação de Z com o valor crítico $|Z_1 - \alpha/2|$ no nível de significância designado α , se $|Z|$ for maior do que $|Z_1 - \alpha/2|$ significa a rejeição da hipótese nula e a existência de tendência estatisticamente significativa (FANG *et al.*, 2019), caso contrário, a tendência não será significativa. Quatro níveis de significância podem ser adotados para uma probabilidade de erro menor do que 0,1% ($p < 0,001$), menor que 1% ($p < 0,01$), inferior a 5% ($p < 0,05$) e erro inferior a 10% ($p < 0,10$) (ABRAHÃO; PEIXOTO; CARVALHO, 2017).

Sen (1968) estimou a inclinação da tendência para um conjunto de dados através da equação (9) (GOCIC; TRAJKOVIC, 2013).

$$Q = \frac{x_j - x_i}{j-i} \quad \text{para } i = 1, \dots, N. \quad (9)$$

Onde x_i e x_j são valores de séries temporais em instantes de tempo i e j . Se houver n valores na série, então:

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (10)$$

O estimador de declive de Sen é a mediana dos N valores de Q .

1.5.2. Países citados nas análises de tendências de dados climáticos históricos *Science Direct*

Dos 24 artigos obtidos no *Science Direct*, 16 países foram citados nas análises com dados climáticos históricos. A China foi o país mais referenciado, em 5 artigos. Canadá, Paquistão e Estados Unidos em 3 artigos. Brasil em 2 artigos. México, Peru, Irã, Etiópia, Tailândia, Japão, Grécia, Austrália, Cazaquistão, Nepal e Índia em 1 artigo.

Na China, os autores Jiapaer *et al.* (2015) estudaram as mudanças climáticas e os efeitos induzidos pelo homem na dinâmica da vegetação. Jiapaer *et al.* (2015) aplicaram o método de regressão linear para temperatura média do ar na província de Xinjiang. Foi observado uma tendência crescente na temperatura média do ar, nos últimos 30 anos na primavera, no verão e no outono com taxas de variação de 0,104 °C/ano, 0,0996 °C/ano, e 0,096 °C/ano, respectivamente. A precipitação apresentou tendências de aumento no inverno na região do Tianshan Ocidental e do Xinjiang do Norte, sendo que o maior aumento ocorreu nas montanhas Altay, com uma taxa de variação de 5,8 mm/ano. Foi observado que houve uma alteração no padrão climático de quente-seco a quente-úmido na Província de Xinjiang. Em 2016, outro artigo teve como objetivo compreender o impacto das mudanças climáticas no regime hidrológico na região do Himalaia. Foram incluídos nesse estudo a China, Nepal e Índia foram incluídas no estudo (NEPAL, 2016). O autor Nepal (2016) fez uma análise de tendências utilizando o teste não paramétrico de Mann-Kendall e o método de Sen's para dados históricos

de precipitação, temperatura máxima e mínima do ar. Esse estudo mostrou uma tendência de aumento ($p < 0,001$) para as temperaturas máxima e mínima do ar, a taxa média foi de 0,058 °C/ano e 0,014 °C/ano, respectivamente. A precipitação apresentou poucas tendências significativas. Nepal (2016) afirmou que esses resultados devem ser avaliados como indicadores das condições hidrológicas futuras. Estudos avaliando o impacto das mudanças climáticas na agricultura são importantes, pois é possível avaliar, mitigar e adaptar a produção para as condições climáticas locais. Nesse sentido, os autores Tao *et al.* (2017) utilizaram dados de colheita e climáticos de Huang-Huai-HaiPlain (HHHP) – China para investigar os impactos do clima durante diferentes estágios de crescimento e rendimento de trigo no inverno. Para analisar as tendências, a regressão linear foi utilizada e a significância estatística foi testada usando o teste t. Foi visto que a temperatura máxima e mínima do ar aumentou significativamente em 0,4 °C/década e 0,6 °C/década, respectivamente, de 1981 a 2009. Enquanto a radiação solar diminuiu significativamente em 0,2 MJ/m²/dia e a precipitação não foi alterada (TAO *et al.*, 2017).

Para compreender a eficácia dos programas de proteção ambiental e a sustentabilidade dos ecossistemas de pastagens uma avaliação quantitativa foi realizada mediante dados de sensoriamento remoto, meteorológicos e observações de campo em alguns pontos na China em 2018 (ZHANG *et al.*, 2018a). Zhang *et al.* (2018a) analisaram a inclinação da tendência linear dos dados climáticos mediante a equação (1). Os dados de precipitação e temperatura média do ar apresentaram tendência de aumento de 1,51 mm/ano e 0,04 °C/ano respectivamente, no período de 1990 a 2013. Para apresentar a variabilidade do clima com o tempo, no período de 2000 a 2013, a precipitação teve uma tendência de aumento de 2,43 mm/ano e a temperatura média teve um crescimento de 0,03 °C/ano. Ainda em 2018, as mudanças em áreas com lagos e cobertura vegetal no planalto de Qinghai-Tibetano foi avaliado por Zhang *et al.* (2018b) juntamente com suas relações com o clima. Através do método de Mann-Kendall e declive de Sen, deste 1982 a 2013, Zhang *et al.* (2018b) estudaram alguns elementos climáticos, aplicando também a regressão linear simples. Foi visto que a temperatura média anual apresentou tendência significativa de crescimento em 1/3 das estações durante o período de 1981 a 2000. Analisando o período de 1981 a 2013 quase toda a região apresentou tendências significativas de aumento. Os autores concluíram que a temperatura do ar a partir do ano 2000 nessa região teve um aumento rápido.

Os autores Hartmann e Andresky (2013) analisaram os registros de precipitação no período de 1951 a 2010 e 1986 a 2010, ao longo de toda bacia Indus no Paquistão aplicando o teste não parâmetro de Mann-Kendall. Tendências significativas e crescentes de precipitação foram detectadas principalmente nas montanhas: no noroeste (montanhas Hindu Kush e Sulaiman) e no leste (Himalaia) de *Upper Reaches* do rio Indus. Algumas tendências negativas de precipitação, foram detectadas no nordeste de *Upper Reaches* (Karakorum e Transhimalaya) (HARTMANN; ANDRESKY, 2013).

Tahir *et al.* (2015) investigaram possíveis tendências em dados de precipitação, temperatura média e vazão do rio em alguns pontos na bacia do Alto Indu, no Paquistão. O teste não paramétrico de Mann- Kendall e o estimador de Theil-Sen (declinação de Sen) foram utilizados na pesquisa de Tahir *et al.* (2015). Nesse estudo, em específico, as variáveis climáticas não apresentaram tendências significativas para a estação de Astore ($p > 0,05$). Mesmo com esse resultado foi sugerido a presença de uma tendência de aumento na vazão e na precipitação, e uma diminuição da temperatura média do ar no verão na bacia do rio Astore (TAHIR *et al.*, 2015).

Os autores Amin *et al.* (2018) analisaram a tendência de 39 estações meteorológicas no Paquistão, no período histórico de 1996-2015, para a temperatura máxima e mínima do ar utilizando os teste de Mann-Kendall e Sen's. Além disso, os autores avaliaram as projeções dos dados. No estudo foi observado um número maior de tendências significativas de crescimento

para a temperatura máxima do ar, como exemplo, nos meses de fevereiro e março os aumentos foram de 0,06 °C/ano e 0,51 °C/ano, respectivamente (AMIN *et al.*, 2018).

Cutforth e Judiesch (2007) analisaram dados meteorológicos históricos em sete cidades (urbanas e rurais) nas Pradarias Canadenses, região no oeste do Canadá entre 1957 e 2005. O teste de Spearman foi utilizado para analisar as tendências climáticas. As temperaturas máximas e mínimas do ar aumentaram cerca de 0,023 °C/década e 0,027 °C/década, respectivamente (CUTFORTH; JUDIESCH, 2007). Em relação aos parâmetros de horas de sol e de radiação solar, apenas a radiação solar apresentou tendências significativas de redução nas estações de *Suffield*, *Bad Lake-Outlook* e *Swift Current*, sendo $p < 0,01$ (CUTFORTH; JUDIESCH, 2007). Foi sugerido que as principais causas da tendência de diminuição da radiação solar incidente tenha sido o aumento da umidade do ar e da nebulosidade.

Os autores Baustian *et al.* (2014) analisaram o comportamento da temperatura do ar e da precipitação no lago *St. Clair*, localizado entre os Estados Unidos e o Canadá no período de 1972 a 2002. Baustian *et al.* (2014), através da regressão linear, observaram que no período de inverno, entre os anos de 1998-1999, houve um aumento da temperatura do ar e como consequência a redução da cobertura de gelo do lago (BAUSTIAN *et al.*, 2014). A temperatura média do ar tem aumentando nos últimos 60 anos ($p < 0,001$) e a temperatura do lago apresentou aumento significativo desde 1948 ($p < 0,001$). Desde o ano de 1900 a precipitação anual aumentou 0,03 mm/ano ($p < 0,05$) (BAUSTIAN *et al.*, 2014).

Em uma região de vinícola no Vale *Okanagan*, na Columbia Britânica-Canadense, a temperatura média do ar foi analisada em períodos entre 1900 e 2014 (RAYNE; FOREST, 2016). No estudo de Rayne e Forest (2016) as tendências foram examinadas usando testes paramétricos e não paramétricos (correlações de classificação de Spearman e Kendall) e modelos de regressão linear usando o pacote de software KyPlot v2.0b15. Como resultado foi observado que a temperatura média do ar está aumentando no período de crescimento e de dormência no cultivo de uvas. Essas mudanças na temperatura alteraram a classificação da vinícola estudada de clima frio para zona intermediária (RAYNE; FOREST, 2016).

As análises de tendências de precipitação, evapotranspiração e vazão de rio foram realizadas por Xu *et al.* (2013) em 55 bacias hidrográficas no meio-oeste dos EUA. As tendências foram avaliadas através do teste não paramétrico de Mann-Kendall. Como resultado, em 78% das bacias não houve tendências detectadas de precipitação e nos 22% restantes as tendências foram de aumento ($2,40 \pm 0,39$ mm/ano) (XU *et al.*, 2013). Para a evapotranspiração ocorreu o mesmo, em apenas 22% das bacias as tendências foram significativas e decrescente ($1,17 \pm 0,24$ mm/ano). O fluxo dos rios aumentou significativamente em 35% das bacias ($2,35 \pm 0,28$ mm/ano) (XU *et al.*, 2013).

Os autores Molina e Allen (2020) investigaram as tendências climáticas, assim como a relação desses parâmetros climáticos com tormentas e tempestades severas que atingem os Estados Unidos vindas do oceano atlântico. Molina e Allen (2020), investigaram tendências climáticas de longo prazo (1981-2017) de umidade relativa do ar usando o teste de Mann-Kendall e regressão linear. Em ambas as análises estatísticas de tendências foi observado que a magnitude e a taxa de umidade têm aumentado desde a década de 1980 (MOLINA; ALLEN, 2020).

O desenvolvimento da urbanização podem influenciar no clima local, neste sentido De Oliveira *et al.* (2020) realizaram um estudo em Belém, capital do Pará-Brasil entre os anos de 1980 e 2017, avaliando o comportamento dos dados climáticos históricos utilizando regressão linear. Os parâmetros selecionados foram velocidade do vento, umidade relativa do ar, precipitação, temperatura máxima, mínima e média do ar. Os resultados mostraram que as temperaturas estão aumentando, enquanto a umidade relativa do ar e o vento estão diminuindo ao longo dos anos, ou seja, o clima local está ficando mais quente e seco. Esse comportamento segue uma tendência climática regional (DE OLIVEIRA *et al.*, 2020). Houve aumento na

precipitação anual acumulada, que pode ter sido ocasionado por alterações na dinâmica atmosférica relacionada ao processo de urbanização (DE OLIVEIRA *et al.*, 2020). Os autores Medeiros *et al.* (2021) realizaram um estudo de tendências climáticas, assim como o impacto do clima em uma pequena central hidrelétrica e uma usina solar na região semiárida da Paraíba-Brasil, entre os anos de 1950 e 2016. Os autores Medeiros *et al.* (2021) observaram as tendências climáticas através de regressão linear e do teste não paramétrico de Mann-Kendall quantificada pelo declive de Sen. As tendências da temperatura média do ar no período anual foram de aumento e significativas para Patos (1975-2014) ($0,04^{\circ}\text{C}/\text{ano}$) e inconclusivas para São Gonçalo (1950-2016). Também foi observado um aumento de $0,01^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ ($p < 0,001$) na temperatura média do ar para as outras localidades analisadas no período de 1950 a 2016.

No México, o estudo realizado por Antaramian e Múzquiz-iribe (1997), analisou as mudanças microclimáticas em áreas com grande urbanização e alta densidade populacional. As tendências de precipitação e temperatura do ar foram analisadas em 5 estações meteorológica de 1949 a 1990/91 localizadas no estado de Michoacán-México. As tendências de precipitação através da análise de regressão linear demonstraram decrescimento para todas as estações. A tendência de redução na temperatura média do ar na cidade de *Zamora* foi de $1^{\circ}\text{C}/\text{década}$. Em *Morelia*, capital do estado, a temperatura máxima do ar apresentou uma tendência de aumento de $0,092^{\circ}\text{C}/\text{década}$. Essa tendência de aumento na temperatura máxima do ar em *Morelia* foi atribuída ao rápido desenvolvimento urbano, em contraste com as outras cidades que estão situadas em regiões rurais (ANTARAMIAN; MÚZQUIZ-IRIBE, 1997).

López-Moreno *et al.* (2014) analisaram as tendências climáticas a partir de séries mensais de 11 estações meteorológicas que estavam a 50 km da Cordilheira *Huaytapallana*, Peru. As tendências climáticas foram analisadas através do teste estatístico de Wilcoxon-Mann-Whitney. A temperatura mínima do ar na estação seca teve uma tendência significativa de diminuição de $0,1^{\circ}\text{C}/\text{década}$ ($p < 0,05$). A temperatura máxima do ar teve aumentos significativos na estação seca e úmida, de 1965 a 2011, a uma taxa foi de $0,22^{\circ}\text{C}/\text{década}$ (LÓPEZ-MORENO *et al.*, 2014). Ainda segundo López-moreno *et al.* (2014) a precipitação nesta região também aumentou durante a estação úmida de 1965 a 2011.

Fitchett *et al.* (2014) estudaram as tendências de parâmetros climáticos, e relacionaram com o pico de floração de cinco frutas cítricas, no Irã. Fitchett *et al.* (2014) analisaram as tendências de temperatura máxima, mínima do ar e precipitação por meio de regressão linear no período de 1960 a 2010. Apenas na cidade de *Gorgan*, a precipitação apresentou uma tendência negativa significativa ($r=0,57$, $p < 0,0001$), que corresponde uma diminuição de 4,7 mm/ano. Em *Kerman*, a temperatura máxima e mínima do ar apresentaram tendências significativas de aumento de $0,05^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ para a temperatura máxima do ar e de $0,03^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ para a temperatura mínima. E em *Shiraz* a temperatura mínima, máxima do ar e a precipitação apresentaram tendências significativas de aumento.

Mudanças no clima podem alterar o ecossistema de regiões mais secas. Pensando nisso, os autores Zewdie, Csaplovics e Inostroza (2017) realizaram um monitoramento de mudanças de longo prazo do índice de vegetação, precipitação e temperatura média do ar para um região localizada no noroeste da Etiópia. As tendências climáticas foram avaliadas através o teste de Mann-Kendall no período de 1983 a 2014. Foi observada uma tendência significativa de crescimento na precipitação anual, incluindo aumento na temperatura máxima do ar ($0,04^{\circ}\text{C}/\text{ano}$) e na temperatura mínima do ar ($0,03^{\circ}\text{C}/\text{ano}$) (ZEWDIE; CSAPLOVICS; INOSTROZA, 2017). Esse aumento na temperatura do ar tem um efeito sobre a umidade do solo que afeta o crescimento da vegetação em regiões áridas e semiáridas. Uma avaliação mais profunda é necessária para quantificar esses efeitos na região (ZEWDIE; CSAPLOVICS; INOSTROZA, 2017).

Para compreender as características do clima e seu impacto na produtividade do arroz, Prabnakorn *et al.* (2018) investigaram as tendências climáticas dos últimos 30 anos (1984-

2013), no nordeste da Tailândia. Através do método de regressão linear Prabnakorn *et al.* (2018) investigaram as tendências climáticas. A análise de tendências de precipitação, temperatura máxima e mínima do ar mostraram em sua maioria que estão aumentando. A temperatura máxima do ar teve taxas crescimento de até 0,8 °C/década (1984-2013) (PRABNAKORN *et al.*, 2018). Shimoda, Kanno e Hirota (2018) analisaram como as variações climáticas recentes impulsionam na produtividade da batata, em Hokkaido-Japão, para o período de 1986 a 2014. Shimoda, Kanno e Hirota (2018) utilizaram regressão linear para avaliar dados climáticos. Foi observada uma tendência de aumento das temperaturas máxima e média do ar no verão desde 1986, com exceção da temperatura mínima do ar, com isso a produção de batata se estabilizou.

Na região do Mediterrâneo Oriental na Grécia foram observados dados de superfície e radiossonda, de temperatura do ar e umidade relativa do ar entre os anos de 1979 a 2017 (TZANIS *et al.*, 2019). Tzanis *et al.* (2019) investigaram a magnitude e a significância estatística das tendências climáticas das séries temporais usando uma abordagem não paramétrica de Theil – Sen combinada com o Mann-Kendall e a inclinação de Sen. Foram observadas tendências significativas (nível de confiança de 95% e 99%) crescentes na temperatura média do ar. Os autores observaram que a temperatura média do ar especificamente a 2 m tende a aumentar mais rapidamente na terra do que na água (TZANIS *et al.*, 2019).

Foi realizada uma análise nas tendências de longo prazo de variáveis climáticas, em uma bacia hidrográfica localizada na Austrália, para compreender as tendências nas perdas de água por evaporação em corpos d'água abertos, entre 1988 e 2018 (FUENTES; VAN OGTROP; VERVOORT, 2020). Nos estudos de Fuentes, Van Ogtrop e Vervoort (2020) o teste de Mann-Kendall e a inclinação de Sen foram utilizados. Como resultado, as temperaturas mínima, máxima e média do ar aumentaram significativamente nos últimos 31 anos. A temperatura mínima do ar variou entre -0,027 °C/ano e 0,073 °C/ano, em 48% da área analisada. A temperatura máxima do ar variou entre 0,009 °C/ano e 0,076 °C/ano em 99% da área analisada. A temperatura média do ar foi de 0,015 °C/ano a 0,047 °C/ano. A precipitação e a umidade relativa do ar no geral estão diminuindo (FUENTES; VAN OGTROP; VERVOORT, 2020).

Os autores Schierhorn *et al.* (2020) avaliaram as tendências climáticas na produção de cereais (trigo e cevada), no período de 1980 a 2015, em quatro províncias do norte do Cazaquistão. Schierhorn *et al.* (2020) avaliaram as tendências de precipitação e temperatura média do ar através do teste de Mann-Kendall. As tendências foram positivas tanto para os dados de temperatura média do ar quanto para a precipitação total durante a estação de crescimento dos cereais, porém o impacto sobre a produtividade foi pequeno entre -1,9% e -4,8% (SCHIERHORN *et al.*, 2020).

Web of Science

Seis países foram citados nos artigos selecionados no *Web of Science*, China, Itália, Zimbábue, Brasil e uma região que abrange Estados Unidos e Canadá.

Os autores Mcbean e Motiee (2006) analisaram o impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos no sistema dos grandes lagos que abrange os Estados Unidos e o Canadá, nos anos de 1948 a 2000 para temperatura média do ar e de 1930 a 2000 para a precipitação. Nas análises de tendências feitas por Mcbean e Motiee (2006), a precipitação apresentou aumentos significativos no período de 1930 a 2000 ($p < 0,05$), em quatro lagos, *Michigan, Huron, Erie* e *Ontário*. Para a temperatura média do ar não foi observada nenhuma tendência significativa nessa região.

Streck *et al.* (2011) analisaram tendências históricas de parâmetros climáticos, no município de Santa Maria pertencente ao estado do Rio Grande do Sul-Brasil, para o estudo de impacto do clima na agricultura. No período de 1º de maio de 1970 a 31 de dezembro de 2009, na Estação Meteorológica Principal de Santa Maria (ECPSTM). Na agricultura de regiões

subtropicais o aumento da temperatura de relva durante o inverno tem impacto na quebra da dormência de frutíferas caducifólias e o aumento no verão aumenta a respiração do tecido vegetal no período noturno. Isso pode ter impacto negativo reduzindo a fotossíntese líquida e a produtividade das culturas do pessegueiro e da maceira (STRECK *et al.*, 2011).

Os autores Arnone *et al.* (2013) utilizaram o teste estatístico para investigar tendências climáticas históricas na Sicília, entre os anos de 1956 e 2005, em 60 estações meteorológicas. Nas análises de tendências de precipitação diária, Arnone *et al.* (2013) verificaram que no intervalo de 1 hora de chuva 14% das estações apresentaram tendências significativas e crescentes, $p < 0,05$. Para as durações de 3, 6 e 12 h uma tendência positiva foi detectada em cerca de 4 e 7% das estações, enquanto para a duração de 24 horas 7% apresentaram tendências significativas de diminuição. Porém para a maioria das estações não foram observadas tendências significativas (ARNONE *et al.*, 2013).

Utete *et al.* (2018) avaliaram os efeitos do clima em locais onde é realizado a captura de peixes, no lago *Chivero* e *Manyame* no Zimbábue. No período de 1983 a 2016 para parâmetros climáticos que influenciam na captura de peixes. Os dados anuais de velocidade média do vento foram significativos e crescentes de acordo com a pesquisa realizada por Utete *et al.* (2018). As temperaturas de superfície dos lagos, a umidade relativa do ar e a precipitação não indicaram tendências significativas. Houve um aumento significativo na evapotranspiração. Por fim, os autores afirmaram que os elementos climáticos têm uma relação significativa com a captura de peixes em lagos periurbanos.

Os autores Lin *et al.* (2020) utilizaram dados históricos mensais de precipitação e temperatura média do ar de 19 estações meteorológicas de 1960 a 2015 e dados futuros, referentes a bacia do Rio *Huai* localizada no leste da China, para analisar as tendências no índice de seca. Não foram observadas tendências significativas no índice de seca utilizando dados históricos climáticos, no período anual e sazonal (primavera, verão, outono, inverno). No cálculo de índice de seca utilizando dados climáticos futuros, quando a temperatura média do ar foi levada em consideração a tendência foi significativa e crescente (LIN *et al.*, 2020).

1.5.3. Parâmetros climáticos utilizados nos estudos de tendências climáticas históricas

Science Direct

Nas análises dos dados climáticos históricos o parâmetro de precipitação foi o mais utilizado, esteve presente em 19 dos 24 artigos selecionados no *Science Direct*. A temperatura média, máxima e mínima do ar estiveram em 13, 12 e 12 citações, respectivamente. A umidade relativa do ar foi citada em 5 artigos. A irradiação global, em 3 artigos. Horas de sol e número de dias com precipitação, em 2 artigos, e por fim, a evapotranspiração e a velocidade do vento citado em 1 artigo cada.

Web of Science

Na biblioteca do *Web of Science* o parâmetro climático mais utilizado foi a precipitação que esteve presente em três artigos do *Web of Science*. Em seguida os parâmetros de temperatura média, mínima e máxima do ar, temperatura do lago, velocidade do vento, umidade relativa do ar, evapotranspiração e índice de seca foram selecionados uma vez.

1.6. CONCLUSÃO

Nesta revisão sistemática foram abordados os métodos estatísticos utilizados para as avaliações de tendências de dados climáticos históricos, por meio dos bancos de dados de

pesquisas científicas do *Science Direct* e do *Web of Science*. Com a metodologia aplicada o resultado da pesquisa gerou no *Science Direct* 124 artigos, e no *Web of Science* 30 artigos. Após análise nos artigos, 24 artigos no *Science Direct* e 5 artigos do *Web of Science* estavam dentro do contexto da temática.

Muitos estudos foram utilizados para compreensão do clima local, incluindo o impacto no setor agrícola. No *Science Direct* grande parte dos artigos selecionados foram produzidos na China, para discutir o impacto do clima na vegetação e na produção de cereais. No Brasil, um artigo realizado na região semiárida no estado da Paraíba correlacionou as tendências de temperatura média do ar com a produção fotovoltaica. Os parâmetros climáticos mais avaliados nos estudos foram as temperaturas mínima, máxima e média do ar e a precipitação.

A regressão linear e o teste não paramétrico de Mann-Kendall associado ao declive de Sen, foram os métodos estatísticos mais utilizados nas análises de tendências climáticas históricas, no *Science Direct*. No *Web of Science* o teste de Mann-Kendall e o declive de Sen foram os únicos utilizados. O uso da regressão linear foi utilizado para visualizar o comportamento dos dados, porém, nem sempre foi aplicada uma estatística para validar e quantificar a presença de possíveis tendências.

Baseado nesta revisão existem diversas lacunas nas pesquisas de tendências climáticas históricas, principalmente as relacionadas com o setor energético no Brasil. Para obtenção de energia elétrica baseada em recursos renováveis o impacto do clima deve ser avaliado por se tratar de um setor bastante suscetível às alterações do clima.

1.7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio por meio dos projetos 306783/2018-5 e as bolsas 142451/2018-5 e 481593/2020-00.

1.8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO, R.; PEIXOTO, I. M. B. M.; CARVALHO, M. Solar or wind energy for the Brazilian semiarid? - Climatic characterization and future trends. **30th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS 2017**, p. 1–13, 2017.
- AMIN, A. *et al.* Evaluation and analysis of temperature for historical (1996–2015) and projected (2030–2060) climates in Pakistan using SimCLIM climate model: Ensemble application. **Atmospheric Research**, v. 213, n. January, p. 422–436, 2018.
- ANTARAMIAN, E.; MUÍZQUIZ-IRIBE, E. Recent climate trends in Michoacán. **Quaternary International**, v. 43–44, n. 97, p. 33–42, 1997.
- ARNONE, E. *et al.* Rainfall statistics changes in Sicily. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, n. 7, p. 2449–2458, 2013.
- BAUSTIAN, M. M. *et al.* A one hundred year review of the socioeconomic and ecological systems of Lake St. Clair, North America. **Journal of Great Lakes Research**, v. 40, n. 1, p. 15–26, 2014.
- CUTFORTH, H. W.; JUDIESCH, D. Long-term changes to incoming solar energy on the Canadian Prairie. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 145, n. 3–4, p. 167–175, 2007.
- DANG, Xin *et al.* Theil-sen estimators in a multiple linear regression model. **Olemiss Edu**, 2008.
- DE OLIVEIRA, J. V. *et al.* Urban climate and environmental perception about climate change in Belém, Pará, Brazil. **Urban Climate**, v. 31, n. December 2019, p. 100579, 2020.
- FANG, W. *et al.* Copulas-based risk analysis for inter-seasonal combinations of wet and dry

- conditions under a changing climate. **International Journal of Climatology**, v. 39, n. 4, p. 2005–2021, 2019.
- FELTOVICH, N. Nonparametric tests of differences in medians: comparison of the Wilcoxon–Mann–Whitney and robust rank-order tests. **Experimental Economics**, v. 6, n. 3, p. 273–297, 2003.
- FITCHETT, J. M. *et al.* Spatio-temporal variation in phenological response of citrus to climate change in Iran: 1960–2010. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 198, p. 285–293, 2014.
- FUENTES, I.; VAN OGROP, F.; VERVOORT, R. W. Long-term surface water trends and relationship with open water evaporation losses in the Namoi catchment, Australia. **Journal of Hydrology**, v. 584, n. December 2019, p. 124714, 2020.
- GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. **Global and Planetary Change**, v. 100, p. 172–182, 2013.
- GOUGH, D.; OLIVER, S.; THOMAS, J. An Introduction to Systematic Reviews. p. 303, 2012.
- GÜCLÜ, Y. S. Multiple Sen-innovative trend analyses and partial Mann-Kendall test. **Journal of Hydrology**, v. 566, n. September, p. 685–704, 2018.
- HARTMANN, H.; ANDRESKY, L. Flooding in the Indus River basin - A spatiotemporal analysis of precipitation records. **Global and Planetary Change**, v. 107, p. 25–35, 2013.
- JAISWAL, R. K.; LOHANI, A. K.; TIWARI, H. L. Statistical Analysis for Change Detection and Trend Assessment in Climatological Parameters. **Environmental Processes**, v. 2, n. 4, p. 729–749, 2015.
- JIA, G. *et al.* Chapter 2: Land–climate interactions. **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**, p. 131–248, 2019.
- JIAPAER, G. *et al.* Vegetation dynamics and responses to recent climate change in Xinjiang using leaf area index as an indicator. **Ecological Indicators**, v. 58, p. 64–76, 2015.
- LIN, H. *et al.* Drought trends and the extreme drought frequency and characteristics under climate change based on spi and hi in the upper and middle reaches of the Huai River Basin, China. **Water (Switzerland)**, v. 12, n. 4, 2020.
- LOPES, J. C. D. J. Mudanças climáticas e suas consequências socioeconômicas. **Revista em Agronegocio e Meio Ambiente**, v. 1, n. 1, p. 127–146, 2008.
- LÓPEZ-MORENO, J. I. *et al.* Recent glacier retreat and climate trends in Cordillera Huaytapallana, Peru. **Global and Planetary Change**, v. 112, p. 1–11, 2014.
- MCBEAN, E.; MOTIEE, H. Assessment of impacts of climate change on water resources – a case study of the Great Lakes of North America. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 3, n. 5, p. 3183–3209, 2006.
- MEDEIROS, S. E. L. *et al.* Influence of climatic variability on the electricity generation potential by renewable sources in the Brazilian semi-arid region. **Journal of Arid Environments**, v. 184, n. October 2020, 2021.
- MOLINA, M. J.; ALLEN, J. T. Regionally-stratified tornadoes: Moisture source physical reasoning and climate trends. **Weather and Climate Extremes**, v. 28, n. October 2019, p. 100244, 2020.
- MOURATO, S.; MOREIRA, M.; CORTE-REAL, J. Interannual variability of precipitation distribution patterns in Southern Portugal. **International Journal of Climatology**, v. 30, n. 12, p. 1784–1794, 2010.
- NEPAL, S. Impacts of climate change on the hydrological regime of the Koshi river basin in the Himalayan region. **Journal of Hydro-Environment Research**, v. 10, p. 76–89, 2016.
- PRABNAKORN, S. *et al.* Rice yield in response to climate trends and drought index in the Mun River Basin, Thailand. **Science of the Total Environment**, v. 621, p. 108–119, 2018.

- RAYNE, S.; FOREST, K. Rapidly changing climatic conditions for wine grape growing in the Okanagan Valley region of British Columbia, Canada. **Science of the Total Environment**, v. 556, p. 169–178, 2016.
- SCHIERHORN, F. *et al.* Spatially varying impacts of climate change on wheat and barley yields in Kazakhstan. **Journal of Arid Environments**, v. 178, n. October 2019, p. 104164, 2020.
- SHIMODA, S.; KANNO, H.; HIROTA, T. Time series analysis of temperature and rainfall-based weather aggregation reveals significant correlations between climate turning points and potato (*Solanum tuberosum L*) yield trends in Japan. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 263, n. February, p. 147–155, 2018.
- STRECK, N. A. *et al.* Temperatura mínima de relva em Santa Maria, rs: Climatologia, variabilidade interanual e tendência histórica. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 696–706, 2011.
- TAHIR, A. A. *et al.* Snow cover trend and hydrological characteristics of the Astore River basin (Western Himalayas) and its comparison to the Hunza basin (Karakoram region). **Science of the Total Environment**, v. 505, p. 748–761, 2015.
- TAO, F. *et al.* Wheat yield benefited from increases in minimum temperature in the Huang-Huai-Hai Plain of China in the past three decades. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 239, p. 1–14, 2017.
- TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review* Introduction: the need for an evidence- informed approach. **British Journal of Management**, v. 14, p. 207–222, 2003.
- TZANIS, C. G. *et al.* Recent climate trends over Greece. **Atmospheric Research**, v. 230, n. June, p. 104623, 2019.
- UTETE, B. *et al.* Fish catches, and the influence of climatic and non-climatic factors in Lakes Chivero and Manyame, Zimbabwe. **Cogent Food & Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 1–11, 2018.
- XU, X. *et al.* Relative importance of climate and land surface changes on hydrologic changes in the US Midwest since the 1930s: Implications for biofuel production. **Journal of Hydrology**, v. 497, p. 110–120, 2013.
- WANG, Wenpeng *et al.* Linear trend detection in serially dependent hydrometeorological data based on a variance correction Spearman rho method. **Water**, v. 7, n. 12, p. 7045-7065, 2015.
- YANG, D. *et al.* History and trends in solar irradiance and PV power forecasting: A preliminary assessment and review using text mining. **Solar Energy**, v. 168, n. November 2017, p. 60–101, 2018.
- ZEWDIE, W.; CSAPLOVICS, E.; INOSTROZA, L. Monitoring ecosystem dynamics in northwestern Ethiopia using NDVI and climate variables to assess long term trends in dryland vegetation variability. **Applied Geography**, v. 79, p. 167–178, 2017.
- ZHANG, H. *et al.* Changes in multiple ecosystem services between 2000 and 2013 and their driving factors in the Grazing Withdrawal Program, China. **Ecological Engineering**, v. 116, n. November 2017, p. 67–79, 2018a.
- ZHANG, Z. *et al.* The response of lake area and vegetation cover variations to climate change over the Qinghai-Tibetan Plateau during the past 30 years. **Science of the Total Environment**, v. 635, p. 443–451, 2018b.